

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2914748号

(45) 発行日 平成11年(1999) 7 月 5 日

(24) 登録日 平成11年(1999) 4 月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/133

H 0 1 S 3/133

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平2-283065

(22) 出願日 平成 2 年(1990) 10月20日

(65) 公開番号 特開平4-157780

(43) 公開日 平成 4 年(1992) 5 月29日

審査請求日 平成 9 年(1997) 1 月24日

(73) 特許権者 999999999

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1
番 1 号

(72) 発明者 宮田 英之

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 小野田 義人

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 青木 朗 (外 3 名)

審査官 杉山 輝和

(56) 参考文献 特開 昭60-117693 (J P, A)

特開 平 2 -4269 (J P, A)

特表 平 3 -504786 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザの周波数安定化装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体レーザ (10) の光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置において、

前記半導体レーザ (10) からの出力光 (P₀) を受けて、一方ではその透過光 (P₁) を送出し、他方では反射光 (P₂) を送出するファブリ・ペローエタロン (22) と、前記透過光 (P₁) および反射光 (P₂) をそれぞれ受光する第 1 受光器 (31) および第 2 受光器 (32) と、前記第 1 受光器 (31) の出力と前記第 2 の受光器 (32) の出力とを相互に減算して光出力検出信号 (S_p) を生成する減算部 (33) と、から構成し、前記発振制御部は前記光出力検出信号 (S_p) のレベルを零にするように前記光発振周波数を制御する発振制御部 (34) からなることを特徴とする半導

2

体レーザの周波数安定化装置。

【請求項 2】前記光出力検出信号 (S_p) のレベルを零にするときの前記光発振周波数の周波数 (f₀) を任意に設定するための周波数設定部 (51) を備える請求項 1 に記載の周波数安定化装置。

【請求項 3】前記発振制御部 (34) が、前記半導体レーザ (10) のバイアスを変化させるバイアス制御手段 (42) および該半導体レーザ (10) の動作温度を変化させる温度制御手段 (43) の少なくとも 1 つを制御する請求項 1 に記載の周波数安定化装置。

【請求項 4】前記周波数設定部 (51) が、前記ファブリ・ペローエタロン (22) を前記出力光 (P₀) の光軸に対し任意の角度で傾斜させる傾斜手段 (61)、該ファブリ・ペローエタロンの動作温度を変化させる温度制御手段 (62)、該ファブリ・ペローエタロンの電気光学効果を

変化させる電界制御手段（63）、該ファブリ・ペローエタロンの光弾性効果を変化させる押圧手段（64）および該ファブリ・ペローエタロンを構成するミラーの対の間隔を制御する調整手段（65）の少なくとも1つからなる請求項2に記載の周波数安定化装置。

【発明の詳細な説明】

〔概要〕

半導体レーザの光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置に関し、

光発振周波数の安定化のために、半導体レーザおよびその周波数安定化装置からなる系内の光発振周波数を低周波で微小変調する従来の外部変調手段を排除することを目的とし、半導体レーザからの出力光を受けて、一方ではその透過光を送出し、他方では反射光を送出するファブリ・ペローエタロンと、透過光および反射光をそれぞれ受光する第1および第2受光器と、第1および第2受光器の各出力を相互に減算して光出力検出信号を生成する減算部と、からなり、発振制御部は光出力検出信号のレベルを零にするように光発振周波数を制御するように構成する。

〔産業上の利用分野〕

本発明は、半導体レーザの光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置に関する。

近年、コヒーレント光通信システムにおいてはその伝送容量を飛躍的に増大させるべく、これに対応する種々の伝送方式が採用されつつある。例えば波長多重伝送方式や光周波数多重伝送方式である。

ところでこのような光多重伝送方式を実現するためには、複数の波長あるいは周波数に対応する光発振源、すなわち複数の半導体レーザが不可欠となるが、この場合、各該半導体レーザ毎に極めて高精度な光発振周波数の安定化が必要となる。これは複数の周波数相互間の間隔を厳密に一定に保つためである。

本発明は上述のような背景のもとで使用される半導体レーザの周波数安定化装置の改良について述べる。なお、本発明による技術は、上記のコヒーレント光通信分野のみならず、光による側長技術分野にも適用し得るものである。この分野では、光の干渉を利用した計測手法を採用しており、やはり光発振周波数の安定化は不可欠だからである。

〔従来の技術〕

第13図は従来例による半導体レーザの周波数安定化装置を示す図である。本図において、10は半導体レーザであり、その光発振周波数を安定化させるのが周波数安定化装置20である。この装置20は図示する構成要素21～26からなる。

半導体レーザ10からの出力光、例えば前方出力光を光通信用のデータ光に用いるとすれば、その後方出力光を、レンズ21を介してファブリ・ペローエタロン22に印

加し、ここでフィルタされた特定周波数の透過光は、受光器24より掃引検出信号 S_S として発振制御部25に与えられ、発振制御部25はこの信号 S_S に基づいて半導体レーザ10の発振周波数を制御する。ここに該発振周波数は一定値に安定化される。この場合、外部変調手段が重要な役割を果す。図中この外部変調手段は、ファブリ・ペローエタロン変調手段23および／または半導体レーザ直接変調手段26として示されており、これについて特性図を参照しながら以下に説明する。

10 第14図は第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタロンの共振特性を示す図であり、横軸には半導体レーザ10の光発振周波数を、縦軸にはファブリ・ペローエタロン22からの透過光の出力レベルをそれぞれとって示す。本図は、ファブリ・ペローエタロン22が共振特性を示すことを表している。その共振周波数は整数倍の関係で複数現れる。

ここで半導体レーザ10およびその周波数安定化装置20からなる系内の光発振周波数を低周波数（データの伝送速度に比べて低周波数）、例えば100KHzで微小変調する。これは前述の外部変調手段（23, 26）で行われる。

20 第14図の特性をもった透過光を、該外部変調手段により低周波で変調した信号を受光器24で電気信号に変換し、この電気信号を発振制御部25に入力する。この中には、該電気信号に対して周波数弁別を行う、いわゆる同期検波回路が含まれており、第14図の透過光波形を微分した形の検出信号が得られる。

第15図は第13図の装置内における受光器からの掃引検出信号の変化を示す図であり、縦軸には上記検出信号の出力レベルにとりて示す。この検出信号は、第14図の波形を微分したものであるから、山状の該波形の頂点では微分値零（図中の“零点”）となり、一方、該山状の波形の中腹（左右2つある）で、正の最大の微分値および負の最大の微分値が得られる。このような発振制御部25は、上記零点を常に追従するように、半導体レーザ10の光発振周波数を制御する。かくして、半導体レーザ10の光発振周波数は、第15図のfに常に固定され、周波数の安定化が行える。

〔発明が解決しようとする課題〕

上述のとおり従来の周波数安定化装置20は、第14図の特性の透過光波形を第15図のように微分した波形を得るために、外部変調手段（23, 26）が不可欠となる。しかしながらこの外部変調手段を用いる周波数安定化装置には問題がある。

すなわち、半導体レーザ10と周波数安定化装置20を含む系内に、上述した微小変調用の低周波成分が含まれることになるから、該半導体レーザの例えば前方光により光通信用のデータ光を送信するとすれば、当然そのデータ光に、後方光に含まれる該低周波成分がノイズとして侵入することになり、伝送品質を劣化させてしまうという問題である。

5

したがって本発明は上記問題点に鑑み、従来の外部変調手段を用いることなく周波数安定化が行える新規な構成からなる半導体レーザの周波数安定化装置を提供することを目的とするものである。

〔課題を解決するための手段〕

第1A図は本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置の基本構成を示す図である。なお、全図を通じて同様の構成要素には同一の参照番号または記号を付して示す。

本発明に係る周波数安定化装置30は、ファブリ・ペローエタロン22と、第1受光部31と、第2受光器32と、減算部33と、発振制御部34とからなる。

ファブリ・ペローエタロン22は、半導体レーザ10からの出力光 P_0 を受光して、一方ではその透過光 P_1 を送出し、他方では反射光 P_2 を送出する。

第1受光器31および第2受光器32は、透過光 P_1 および反射光 P_2 をそれぞれ受光する。

減算部33は、第1受光器31の出力と第2受光器32の出力とを相互に減算して光出力検出信号 S_p を生成する。

発振制御部34は、光出力検出信号 S_p のレベルを零にするように光発振周波数を制御する。

第1B図は第1A図の基本構成の変形例を示す図であり、ファブリ・ペローエタロン22の前段に光分岐手段28、例えば図示するハーフミラーあるいは光カプラを設け、この光分岐手段28を介して反射光 P_2 を取り出すようにする。なお、以下の説明は第1A図の基本構成を主体として行う。

〔作 用〕

第2図は本発明の原理説明に用いる図である。本図は透過光 P_1 の光出力レベル（実線）と反射光 P_2 の光出力レベル（点線）の光発振周波数に対する変化を示す図である。ただし透過光 P_1 については、前述した第14図の特性と同じである。

半導体レーザ10からの出力光 P_0 の光エネルギーは一定に保存されることから、ファブリ・ペローエタロン22より透過光 P_1 として消失したエネルギーの残余のエネルギーは反射光として消失することになる。一般にこの発射光は無駄に捨てられ、むしろ半導体レーザ10の出力光 P_0 に戻り、これに悪影響を与えていた。

本発明においては第2図の点線で示す光出力レベルを有するファブリ・ペローエタロンからの反射光 P_2 を取り出し積極的に利用する。なお、反射光 P_2 を取り出す最も簡単な方法としては、第1A図のようにファブリ・ペローエタロン22の主軸を、出力光 P_0 の光軸に対して傾斜させる方法が挙げられる。また、第1B図に示すように光分岐手段28を介して取り出すようにしても良い。

第2図に示すように、透過光 P_1 と反射光 P_2 の各出力レベルは相補的な関係にある。そこで、一方の光出力レベル、例えば反射光 P_2 の光出力レベルを反転させて、他方の光出力レベル、すなわち透過光 P_1 の光出力レベルと加

6

算する。この光出力レベルの反転および加算は減算部33で行われ、その出力として光出力検出信号 S_p を得る。

第3図は減算部からの光出力検出信号を説明するための図である。本図の光出力検出信号レベルは第2図の点線のカーブ P_2 を上下反転させて、第2図の実線のカーブ P_1 に加え合わせたものに相当し、零レベルを中心に正（+）および負（-）に振れる。この零レベルと信号レベル S_p との交点を零点と称することになると、この零点は、第2図のレベル P_2 とレベル P_1 とが交差する点に相当する。この点での光発振周波数の周波数を f_0 とすると、周波数安定化装置30によって、半導体レーザ10の光発振周波数 f_0 に固定的に安定させることができる。この場合、周波数安定化装置30内の発振制御部34は、信号 S_p が常に上記の零点に追従するように半導体レーザ10を制御することになる。

本発明による第3図の“零点”は前述した第15図に示す従来の“零点”に対応するものであるが、この零点を得るために本発明では従来の外部変調手段（23, 26）を全く導入していないことに注目すべきである。したがって従来の外部変調手段を用いることによって生じる既述の問題は解消されることになる。

〔実施例〕

第4図は本発明の一実施例を説明するための図であり、演算部33の具体例が示されている。すなわち減算部33は引算回路として組まれた演算増幅器41で実現される。なお、引算回路とは、2つの入力のうち一方をレベル反転回路を通してレベル極性切り替えをした後に加算する加算回路をも含む概念である。

上記演算増幅器41の出力を受けて動作する発振制御部34は、半導体レーザ10の光発振周波数を、信号 S_p が常に零点に収束するように動作するものであり、そのために例えばバイアス制御手段42や温度制御手段43を制御する。これらの手段42および43の少なくとも一方を制御すればよく、必要なら両方を制御する。

バイアス制御手段42は、一般的な半導体レーザ駆動回路に含まれる周知のバイアス電流制御回路でよい。

また温度制御手段43は、一般的な半導体レーザ駆動回路に付帯せしめられる周知の熱源素子、例えばペルチェ効果を有する半導体デバイスでよい。通常、半導体レーザはこのような熱源素子によって一定温度（例えば25℃）下で動作せしめられ、光発振周波数がシフトしないようにしている。この熱源素子を前記光出力検出信号 S_p が常に零点に収束するように制御すればよい。

第5図は第1A図の周波数安定化装置に周波数設定部を付加した図である。第2図および第3図を再び参照すると、光発振周波数における特定の周波数 f_0 は、零点が定まると一義的に定まる。したがって零点が定まると、この周波数 f_0 は動かすことができない。そうすると、実用上は使い勝手が悪い。例えば既述の光周波数多重伝送方式（FDM）においては、多数のチャンネルが所定の周波数

間隔において周波数軸上に配列されることになるが、その所定の周波数間隔を厳密に設定すべく、例えばある周波数帯を担う半導体レーザの光発振周波数を例えば3GHzシフトさせたい、という要求が生じ得る。この要求に応えるためには、前記の周波数 f_0 が任意に設定可能でなければならない。このために第5図に示す周波数設定部51を設ける。

第6図は周波数設定部の第1例を示す図である。第1例では、傾斜手段61に用いる。該手段61は、ファブリ・ペローエタロン22を出力光 P_0 の光軸に対し任意の角度で図中の矢印の方向に傾斜させる。その駆動源としては μ mのオーダの変位をする圧電素子(PZT)を用いることができる。傾きを変えることにより、ファブリ・ペローエタロンの共振器長が変えられることを利用したものである。

第7図は周波数設定部の第2例を示す図である。第2例では、温度制御手段62を用いる。ファブリ・ペローエタロンの温度を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。

第8図は周波数設定部の第3例を示す図である。第3例では、電界制御手段63を用いる。この手段63は、ファブリ・ペローエタロンの両端に固着された電極対に電圧を印加する。これは電気光学効果を有するファブリ・ペローエタロンに対する電界を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。

第9図は周波数設定部の第4例を示す図である。第4例では、押圧手段64を用いる。これは光弾性効果を有するファブリ・ペローエタロン22を、その主軸にそって外圧により伸縮せしめることにより共振器長が変えられることを利用したものである。なお、その押圧源としては圧電素子(PZT)を用いることができる。

第10図は周波数設定部の第5例を示す図である。第5例では、調整手段65を用いる。これは一対のミラーからなるファブリ・ペローエタロン22のミラー対の間隔を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。ミラー対の間隔を変える駆動源としては、圧電素子(PZT)を用いることができる。

第11図は受光器の第1の変形例を説明する図である。本図において、既述の第1および第2受光器は、それぞれ第1の大口径受光器71および第2の大口径受光器72となっている。それぞれ透過光 P_1 のおよび反射光 P_2 の光軸に対し広角度 α および β をもって、 P_1 および P_2 を受光可能である。これは、多少の光軸ずれを許容するものであり、製造上のマージンを大きくとれるメリットがある。

このように大口径の受光器71, 72が採用できたのは本発明において従来の外部変調手段(23, 26)を排除したからである。この外部変調手段の変調周波数は、半導体レーザの光発振周波数に比べればきわめて低いものの、例えば100KHzと高い周波数である。このような高周波数に応答する高速ホトダイオード(受光器31, 32)は一般

に小口径である。

ところが本発明によると、上記の変調周波数に対応する周波数は、光出力検出信号 S_p のレベル変動の周波数であり、ほぼ直流に近いものである。そうすると、このような低周波用のホトダイオードとしては一般に大口径のものが安価に入手できる。この点に着目し、大口径の受光器71, 72を採用したものである。

第12図は受光器の第2の変形例を説明する図である。上述のように大口径の受光器を用いることにより製造上のマージンが大きくとれるというメリットがある。

ところで、上記の光出力検出信号 S_p のレベル変動の周波数は、上述のように常に低いとは限らない。これは半導体レーザ10の光発振周波数がかかなり高速にシフトする場合もあるからである。そうすると、信号 S_p のレベル変動の周波数もそれについて高いものとなる。

このようなときは高速応答に適した小口径のホトダイオードが必要になる。そこで小口径のホトダイオード、すなわち小口径受光素子をアレイ状に複数配列して、形状からすると第11図の大口径受光器71, 72とほぼ等価なものとする。これが、第1のアレイ形受光器81および第2のアレイ形受光器82である。

第4図から第12図までファブリ・ペローエタロン22を斜めにして反射するような構成を取っているが、これらの構成において第1B図のように反射光を光分岐手段28により分岐しその光を受光するような構成としてもよい。

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、外部変調成分が全くなく、半導体レーザによる本来の光データ伝送品質をほとんど劣化させない、という大きな利点を生ずる。

また、これに加えファブリ・ペローエタロン22からの反射光 P_2 は、半導体レーザの出力光 P_0 には戻らないように構成しているから、この戻り光の影響による光データ品質の劣化ということはない。

さらに、第3図に示すとおり、光出力検出信号 S_p の振幅は、従来の対応する検出信号(第15図)の振幅の概略2倍となるから、発振制御部34にはいわゆるS/Nの高い制御入力を与えられることになり、この点からも半導体レーザの周波数は一層安定化されることになる。

【図面の簡単な説明】

第1A図は本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置の基本構成を示す図、

第1B図は第1A図の構成の変形例を示す図、

第2図は本発明の原理説明に用いる図、

第3図は減算部からの光出力検出信号を説明するための図、

第4図は本発明の一実施例を説明するための図、

第5図は第1A図の周波数安定化装置に周波数設定部を付加した図、

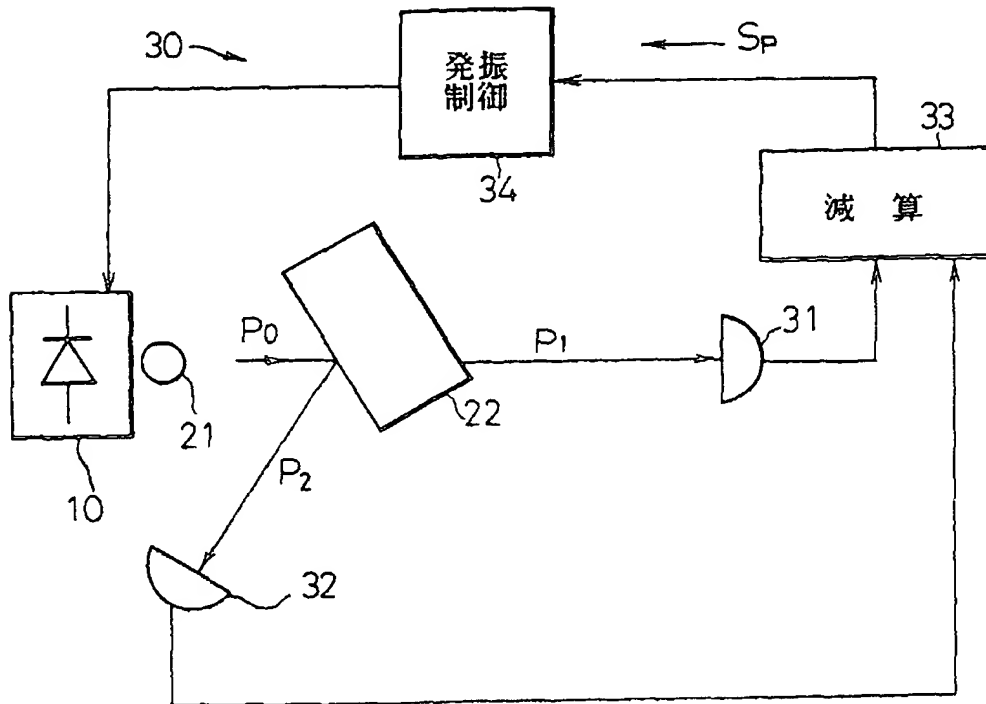
第6図は周波数設定部の第1例を示す図、

第7図は周波数設定部の第2例を示す図、

第8図は周波数設定部の第3例を示す図、
 第9図は周波数設定部の第4例を示す図、
 第10図は周波数設定部の第5例を示す図、
 第11図は受光器の第1の変形例を説明する図、
 第12図は受光器の第2の変形例を説明する図、
 第13図は従来例による半導体レーザの周波数安定化装置
 を示す図、
 第14図は第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタ
 ロンの共振特性を示す図、
 第15図は第13図の装置内における受光器からの掃引検出
 信号の変化を示す図である。
 図において、
 10……半導体レーザ、
 22……ファブリ・ペローエタロン、

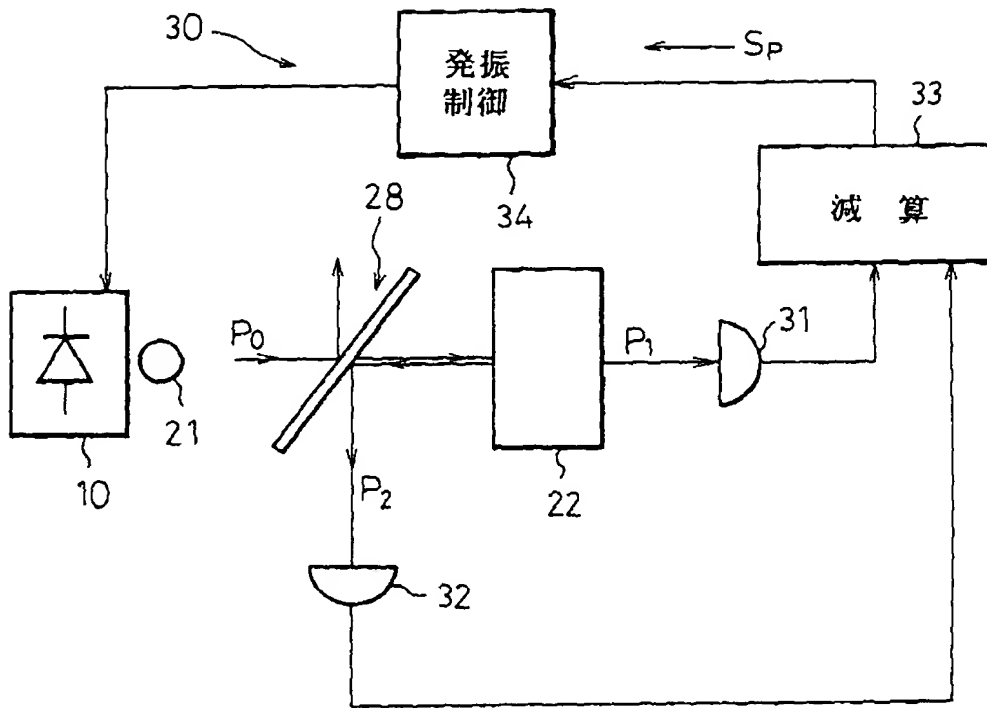
28……光分岐手段、30……周波数安定化装置、
 31……第1受光器、32……第2受光器、
 33……減算部、34……発振制御部、
 41……減算増幅器、42……バイアス制御手段、
 43……温度制御手段、51……周波数設定部、
 61……傾斜手段、62……温度制御手段、
 63……電界制御手段、64……押圧手段、
 65……調整手段、
 71……第1の大口径受光器、
 72……第2の大口径受光器、
 81……第1のアレイ形受光器、
 82……第2のアレイ形受光器、
 P₀……出力光、P₁……透過光、
 P₂……反射光、S_p……光出力検出信号。

【第1A図】



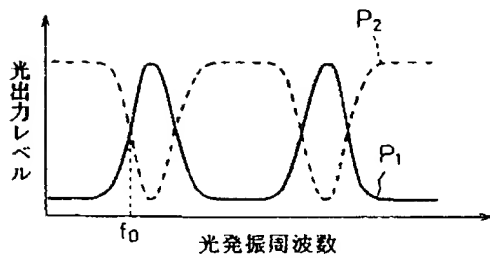
本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置
 の基本構成を示す図

【第1B図】



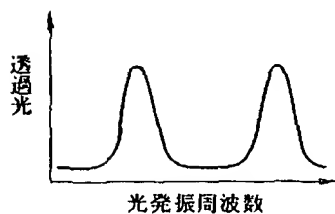
第1A図の基本構成の変形例を示す図

【第2図】



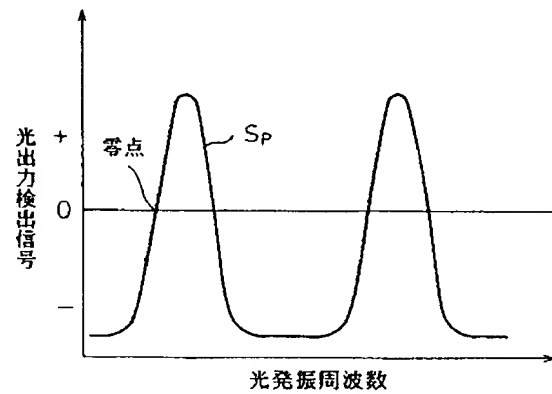
本発明の原理説明に用いる図

【第14図】



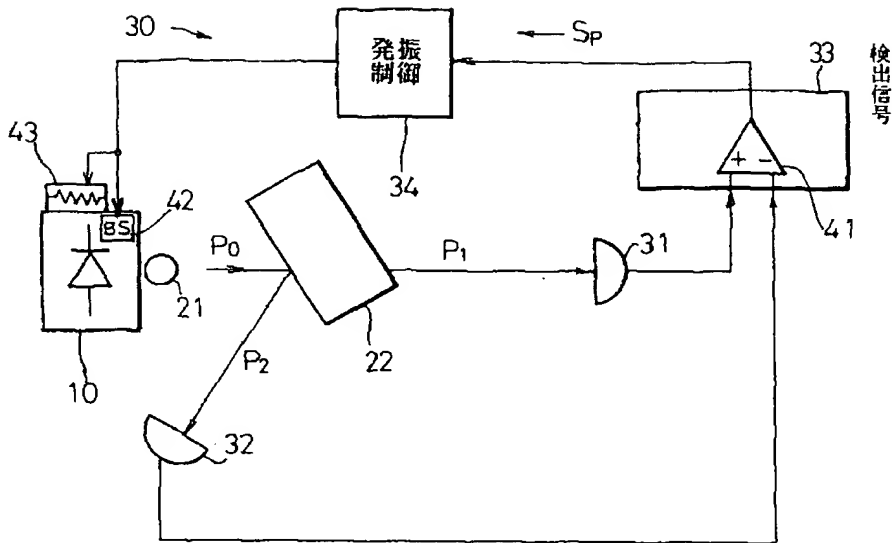
第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタロンの共振特性を示す図

【第3図】

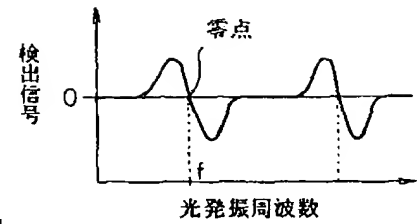


減算部からの光出力検出信号を説明するための図

【第4図】



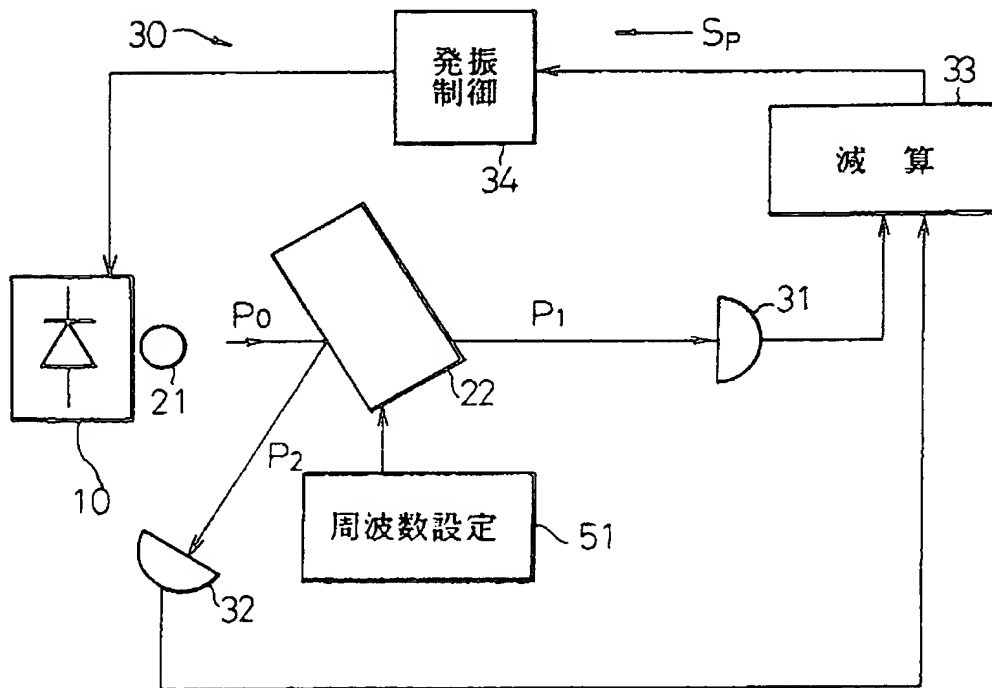
【第15図】



第13図の装置内における受光器からの掃引検出信号の変化を示す図

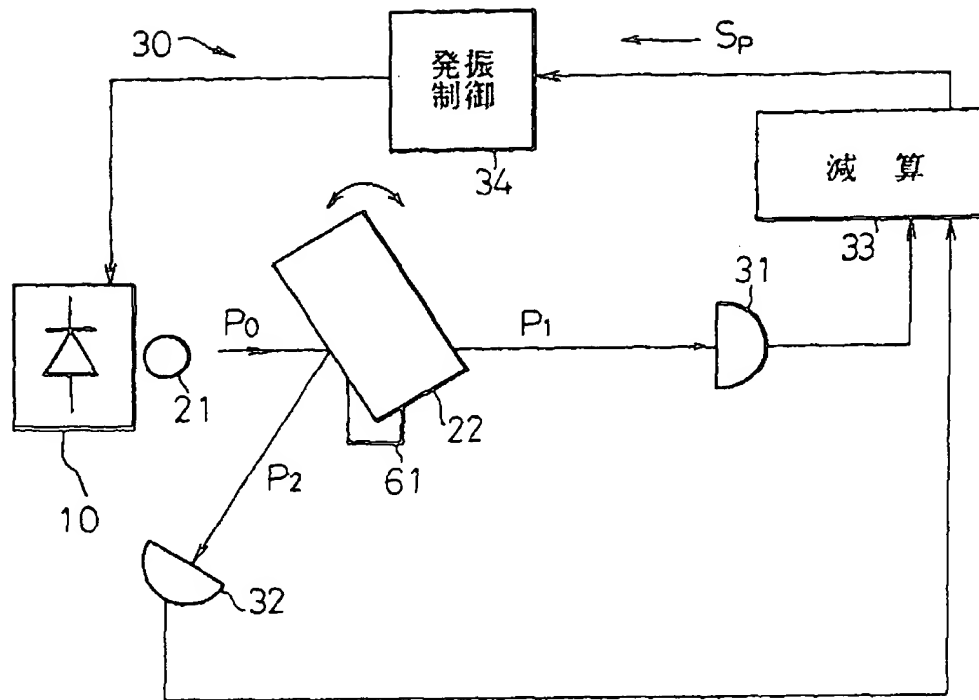
本発明の一実施例を説明するための図

【第5図】



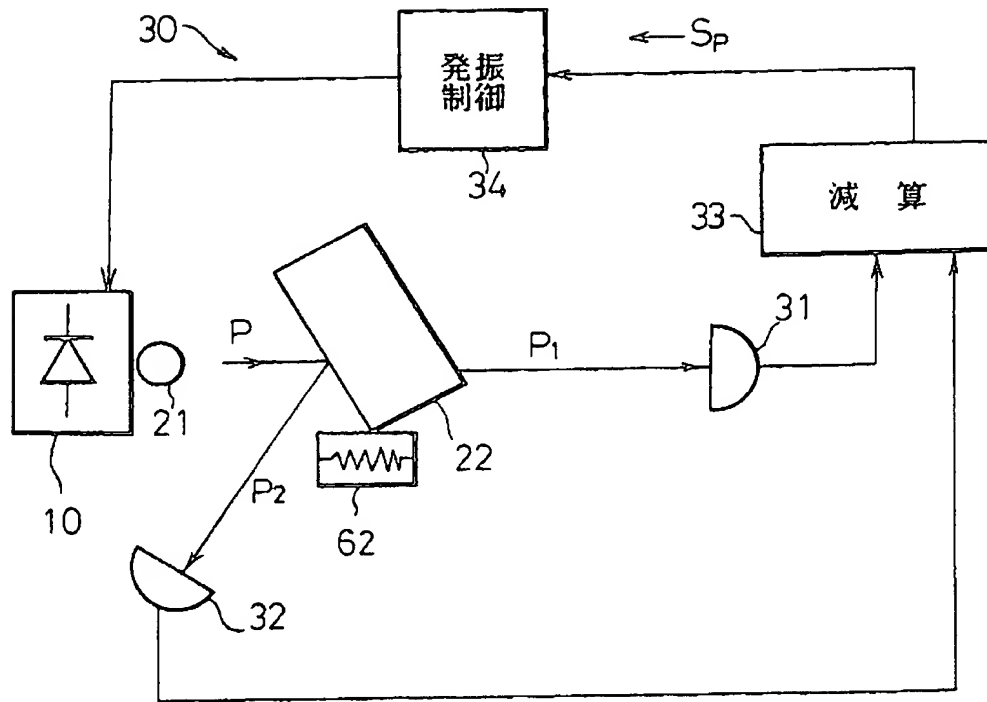
第1A図の周波数安定化装置に周波数設定部を付加した図

【第6図】



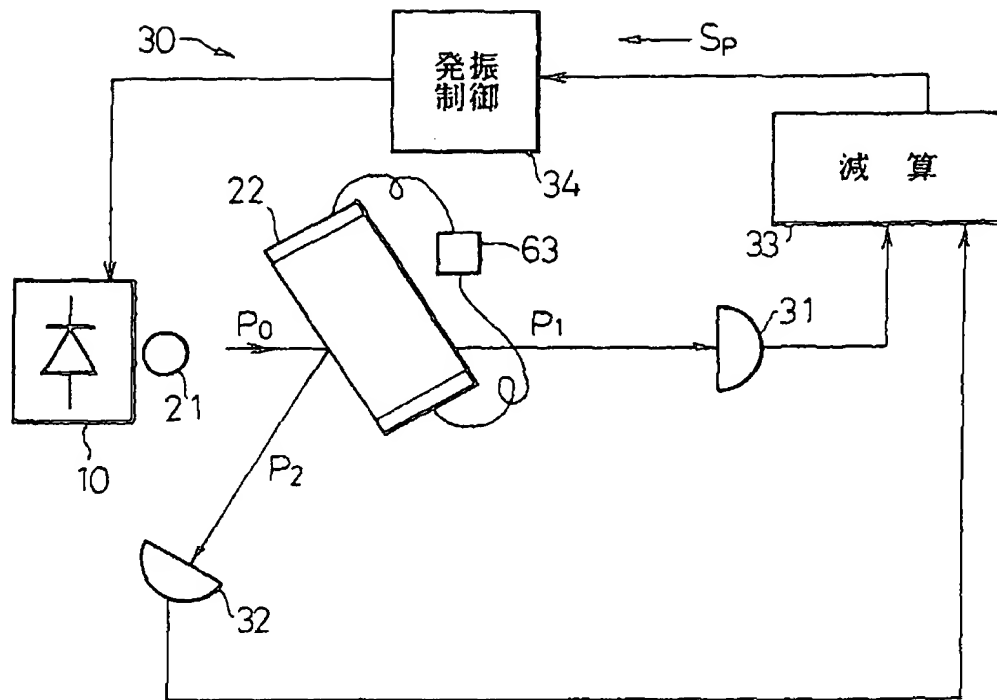
周波数設定部の第1例を示す図

【第7図】



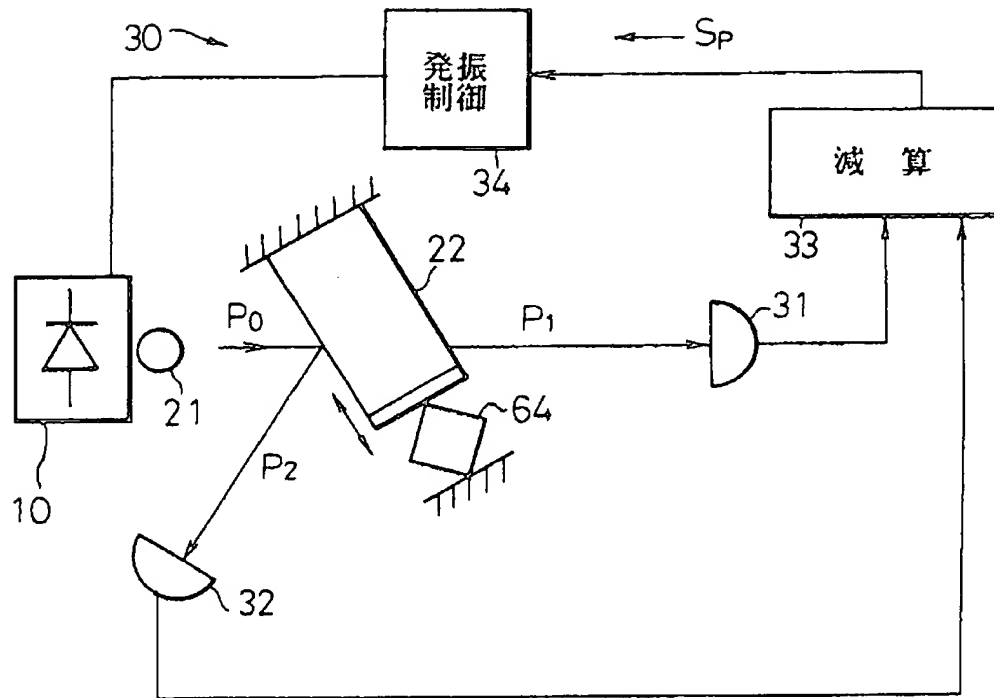
周波数設定部の第2例を示す図

【第 8 図】



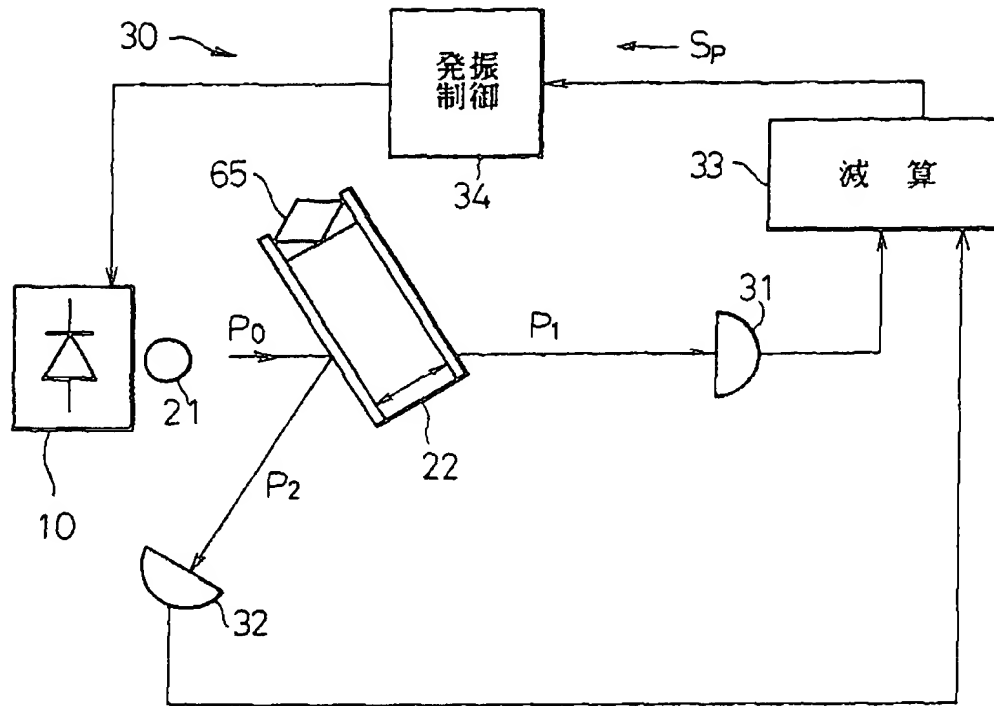
周波数設定部の第 3 例を示す図

【第9図】



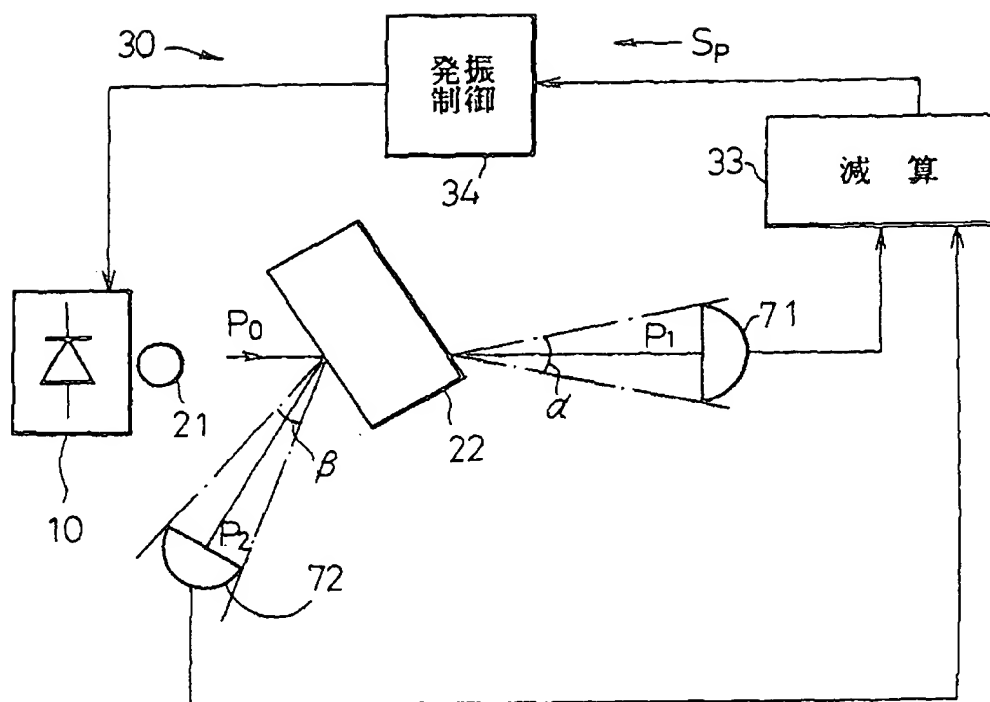
周波数設定部の第4例を示す図

【第10図】



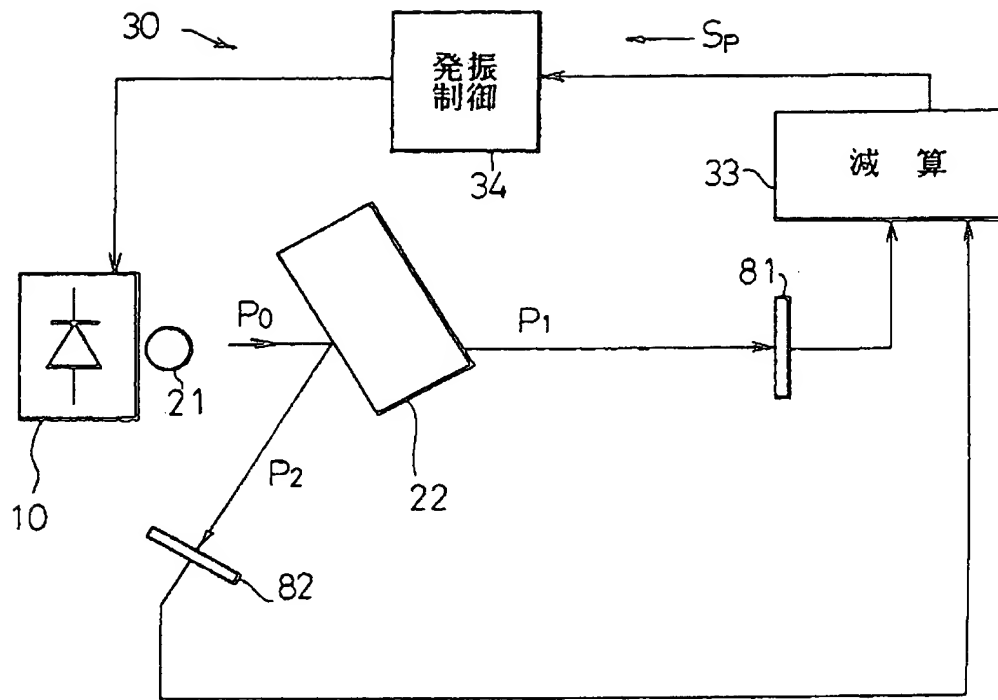
周波数設定部の第5例を示す図

【第11図】



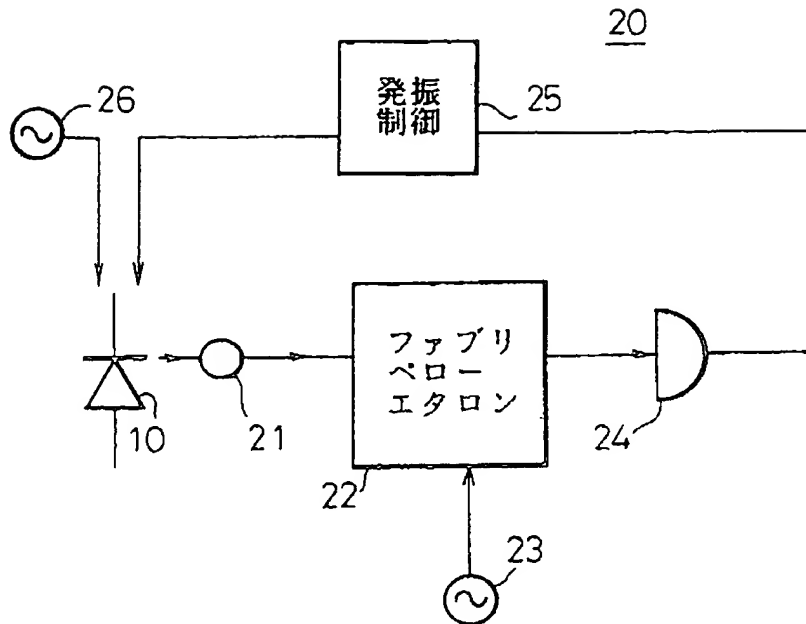
受光器の第1の変形例を説明する図

【第12図】



受光器の第2の変形例を説明する図

【第 1 3 図】



従来例による半導体レーザの周波数
安定化装置を示す図

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁶, DB名)

H01S 3/133